



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Impianto fotovoltaico integrato da 20 kWp per l'edificio aule e biblioteca a Sesto Fiorentino

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Impianto fotovoltaico integrato da 20 kWp per l'edificio aule e biblioteca a Sesto Fiorentino / L.Ceccherini Nelli. - STAMPA. - (2004), pp. 1-48.

Availability:

This version is available at: 2158/655863 since:

Publisher:

Alinea

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE
CENTRO INTERUNIVERSITARIO ABITA- sede di FIRENZE

a cura di Lucia Ceccherini Nelli

**Impianto fotovoltaico integrato nell'edificio
aule e biblioteca al Polo scientifico
universitario di Sesto Fiorentino**

Introduzione
Giorgio Raffellini

Progetto finanziato da: Ministero dell'Ambiente, Regione Toscana e Comunità Europea
Progetto Europeo- "PV ENLARGEMENT" contratto n: NNE5-2001-736
Gennaio 2003-Dicembre 2006

 **ALINEA**
EDITRICE

© copyright ALINEA EDITRICE s.r.l. - Firenze 2004
50144 Firenze, via Pierluigi da Palestrina, 17/19 r
Tel. 055/33428 - Fax 055/331013

tutti i diritti sono riservati:
nessua parte può essere riprodotta in alcun modo
(compresi fotocopie e microfilms) senza il permesso scritto dalla Casa Editrice

e-mail ordini@alineait.it
<http://www.alinea.it>

ISBN

finito di stampare Ottobre 2004

Progetto editoriale, progetto grafico e fotografie:
Lucia Ceccherini Nelli

d.t.p.s.: ALINEA EDITRICE s.r.l.
Stampa:

SOMMARIO

- 3** Dati di progetto
- 4** Introduzione
Giorgio Raffellini
- 8** Titolo
Fialà oppure Salvi
- 12** Energie rinnovabili ed integrazione architettonica
Marco Sala
- 16** Il fotovoltaico, tecnologia per l'integrazione architettonica
Lucia Ceccherini Nelli
- 22** Il progetto fotovoltaico integrato
Lucia Ceccherini Nelli
- 38** L'attività formativa
Lucia Ceccherini Nelli
- 40** Il monitoraggio, la verifica funzionale e il Display di visualizzazione dei dati
*Gianluca Tondi e Lorenzo Corbella
ETA -Florence*
- 48** Il sito Web

Un progetto di integrazione architettonica del fotovoltaico

Dati di progetto

Committente: Università degli Studi di Firenze
Ufficio responsabile:
DIVISIONE SERVIZI PATRIMONIALI - UFFICIO
PROGRAMMAZIONE E PIANIFICAZIONE EDILIZIA
Dirigente: Arch. Giuseppe Fialà,
Responsabile del procedimento:
Arch. Maurizio Salvi, con la collaborazione di Arch.
Patrizia Giunti.
Coordinatore alla sicurezza: Geom. Sergio Cozzolino
Energy Manager: Prof. Giorgio Raffellini

PROGETTAZIONE:

Architettonica e direzione dei lavori:
Arch. Lucia Ceccherini Nelli - Centro ABITA-Firenze
Impianto Elettrico:
ETA Florence - Ing. Gianluca Tondi, Ing. Francesco
Cariello
Strutture metalliche: Ing. Luigi Campa

MONITORAGGIO:

Arch. Lucia Ceccherini Nelli - Centro ABITA-Firenze
ETA Florence - Ing. Gianluca Tondi, Ing. Lorenzo
Corbella

IMPRESA:

ATI Gechelin FIMA
Formata da Gechelin Group per l'installazione
fotovoltaica e FIMA COSMA SILOS per le strutture
metalliche

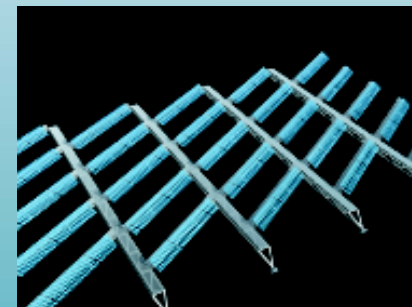
Completato nel mese di Febbraio 2004

FINANZIAMENTI:

Ministero dell'Ambiente "Programma Tetti
Fotovoltaici", Regione Toscana.
Comunità Europea RICERCA EUROPEA "PV

ENLARGEMENT" contratto n: NNE5-2001-736

Coordinamento del progetto europeo:
WIP Munich- Ing. Matthias Grotthe, PV Enlargement
project coordinator.
<http://www.pvenlargement.com/>



Dati di progetto

Prof. Giorgio Raffellini - Energy Manager dell'Università degli Studi di Firenze - Dipartimento TAeD

1. Energia: passato, presente e futuro

Da sempre l'energia è stata protagonista dello sviluppo della civiltà dell'uomo.

Dall'uomo primitivo in poi l'utilizzo dell'energia ha seguito l'evoluzione della tecnica, cominciando dal fuoco all'energia idraulica ed eolica, fino all'enorme sviluppo verificatosi negli ultimi due secoli, in cui il consumo energetico pro capite è cresciuto fino a diventare 100 volte superiore all'energia del metabolismo corporeo, basato sull'alimentazione.

Il consumo energetico su base mondiale è cresciuto stabilmente negli ultimi 150 anni ad un tasso medio intorno al 2,3 per cento.

Questa necessità di energia crea vari ed importanti problemi:

- a tutte le nazioni che la debbono, in più o meno larga misura, procurare importandola da altri paesi, sia in termini economici che di sussistenza,
- poiché generano troppo spesso tensioni sia

politiche che economiche, che talvolta sfociano in eventi drammatici, anche con molti paesi coinvolti (es. recente conflitto in Iraq),

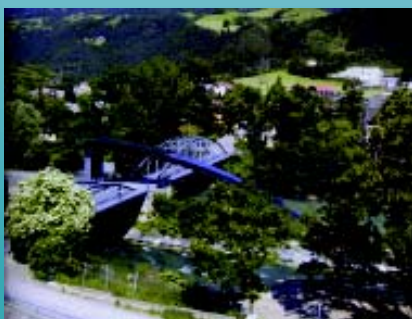
- conseguenti inquinamenti ambientali (aria, acque, terra), sia nel tragitto fra luoghi di produzione e quelli di utilizzo, sia nell'utilizzazione diretta (es. combustioni).

Pare quindi necessario, anzi vitale per le varie Nazioni e per il pianeta, da un lato limitarne sensibilmente le quantità richieste, e dall'altro sostituire, con forti accelerazioni, i combustibili fossili (petrolio, gas, carbone) con fonti di energia rinnovabili (sole, vento, acqua), che hanno ottime caratteristiche potenziali. Basti pensare che il consumo complessivo legato oggi alle attività dell'uomo è comunque solo 1/10.000 dell'energia proveniente dal sole ed incidente sulla superficie terrestre.

Tuttavia, il consumo medio mondiale è poco indicativo in quanto fortemente sbilanciato tra quello massimo dei Paesi molto sviluppati, in testa Canada ed USA, e quello dei Paesi senza o con limitato sviluppo tecnologico. A tale proposito l'IEA (International Energy Agency) evidenzia che ben 1,6 miliardi di persone – circa un quarto della popolazione mondiale – sono ancora oggi sprovviste di energia elettrica, il che preclude loro inevitabilmente lo sviluppo di una qualsiasi attività industriale e i relativi risvolti occupazionali. La maggioranza (4/5) di queste popolazioni vive in aree rurali dei Paesi in via di sviluppo, principalmente in Asia e in Africa.

Inoltre circa 2,4 miliardi di persone fanno affidamento quasi esclusivamente sulle biomasse tradizionali (legname) come fonte di energia primaria.

Pertanto, in molti di questi Paesi, il livello di radiazione solare è considerevole e potrebbe divenire la fonte



Impianto eolico e fotovoltaico in Val di Isarco

primaria di energia, purché utilizzabile con tecnologie semplici ed economiche. È quindi compito dei Paesi più avanzati, come l'Italia, sviluppare nuove tecnologie ed il "know-how" corrispondente, al fine di permettere un tale progresso.

Nell'immediato futuro, in assenza di grandi innovazioni tecnologiche, i previsti consistenti aumenti della domanda energetica mondiale saranno coperti da un sempre più intenso utilizzo dei combustibili fossili, con una leggera flessione del contributo relativo all'energia nucleare ed al mantenimento di un apporto molto ridotto da parte delle fonti rinnovabili non idroelettriche (fotovoltaico, eolico, biomasse ecc.).

Sempre secondo l'analisi dell'IEA, tra il 2000 ed il 2030 è prevedibile un raddoppio dei consumi mondiali di energia elettrica, principalmente a causa dell'aumento della domanda nei Paesi in via di sviluppo.

2. Problematiche e possibili rimedi

Al di là della disponibilità delle fonti energetiche fossili e dei prezzi sempre e fortemente crescenti negli ultimi mesi nei mercati, lo scenario oggi previsto con notevolissimo impiego di tali combustibili (petrolio, carbone, gas) comporta preoccupanti conseguenze ambientali e di sviluppo:

1. cambiamenti climatici di ampie proporzioni, con conseguenze particolarmente gravi nei Paesi in via di sviluppo, meno preparati ad affrontarne gli effetti;
2. sviluppo sostenibile ostacolato da problemi correlati alla sicurezza degli approvvigionamenti di petrolio e gas naturale;
3. problemi della povertà mondiale non risolti, ma amplificati.

Le conseguenze di questo scenario possono esse-

re evitate solo modificando alcune delle sue ipotesi di base, in particolare la previsione che nessuna tecnologia veramente innovativa e più accettabile per l'ambiente sarà disponibile e avrà un ruolo sostanziale nei prossimi decenni. Per cambiare radicalmente lo scenario delineato da questa previsione "come oggi prevista dai mercati", è necessario un vigoroso impulso allo sviluppo di tecnologie innovative, che possono comportare, oltre che rilevanti risparmi economici, anche una sensibile riduzione nei conseguenti inquinamenti ambientali, oggi abitualmente sintetizzate nelle emissioni previste di anidride carbonica (CO₂).

La proiezione virtuosa in questo campo per il futuro, recita costantemente: "ridurre la dipendenza energetica dai paesi esteri", e le emissioni inquinanti derivanti dall'uso dei combustibili fossili.

L'energia solare e l'uso dell'idrogeno, oltre all'orientamento, che è auspicabile sia sempre più seguito, verso i "risparmi e recuperi energetici", sono i candidati ideali per rompere tale circolo vizioso tra il progresso economico e le sue ripercussioni ambientali e sociali.

3. Un auspicabile nuovo approccio all'utilizzazione dell'energia solare

Dopo una discreta diffusione di impianti con collettori solari, quasi esclusivamente ad acqua, verificatesi in Italia negli anni 75-80, in conseguenza delle prime crisi energetiche dovute alla guerra Israele – Paesi Arabi (1973 e 76), per almeno vent'anni l'energia solare come fonte alternativa è stata pressoché ignorata. Peraltro, pure in questi ultimi anni non si sono verificati in Italia né l'elargizione di sostanziosi incentivi pubblici, né apprezzabili spinte mediatiche degli organi d'informazione, al contrario di altri Paesi, ad esem-

pio la Germania dove questi eventi si sono attuati in misura significativa, anche se con condizioni d'irraggiamenti solari assai minori di quelli nostri, e specialmente delle aree centro meridionali ed insulari. Dovrà quindi essere dato un forte impulso, in fondi ed in battage di informazioni, verso l'uso diffuso di sistemi solari attivi e di impianti fotovoltaici.

Riguardo a questi ultimi, un paio di anni fa è stata lanciata una prima campagna "tetti fotovoltaici" finanziata con fondi pubblici, per rendere tali impianti, con costi improponibili nell'ottica di mercato, circa competitivi con altri metodi di produzione dell'energia elettrica. Proprio di questa promozione l'Univ. Di Firenze, come altre Univ. e vari Enti Pubblici, ha inteso avvalersi per realizzare un primo impianto campione, ed è parso opportuno che essa venisse attuata nel Polo di Sesto Fiorentino, di recente avviato e proprio nell'edificio di Fisica, per l'evidente assonanza e compatibilità scientifica.

4. Impianti a celle fotovoltaiche

Questi impianti vengono ritenuti da molti esperti i principali candidati ad assumere il ruolo di reali fonti alternative, in particolare di energia elettrica, nel lungo termine.

Essi si basano sull'ottenimento di una forza elettromotrice da celle fotovoltaiche (FV) che consentono di trasformare direttamente l'energia associata solare in energia elettrica, basandosi sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori (fra cui il silicio, cioè il secondo elemento più diffuso in natura dopo l'ossigeno) che opportunamente trattati (drogati) ed interfacciati, sono in grado di generare elettricità se colpiti dalla radiazione solare, in misura dipendente dall'intensità della stessa. Più precisamente la cella

FV è composta da una fetta di silicio, che deve essere appunto "drogato" mediante l'inserimento su una faccia di atomi di boro (drogaggio p) e sull'altra faccia con piccole quantità di fosforo (drogaggio n). Questo drogaggio serve proprio per rendere questa fetta carica in maniera differente sulle due facce, negativa e positiva, per creare un diverso potenziale, infatti nella zona di contatto tra i due strati a differente drogaggio si determina un flusso di elettroni, sempre più intenso all'aumentare dell'intensità solare, e quindi ai capi dei conduttori inseriti sulla cella si evidenzia una differenza di potenziale elettrico, e da qui si raccoglie energia elettrica. o elettrico appunto; quando la cella è esposta alla luce, o meglio ai raggi ultravioletti ed infrarossi ai quali è sensibile, per effetto fotovoltaico, si generano delle cariche elettriche e, se le due facce della cella sono collegate ad un utilizzatore, si avrà un flusso di elettroni sotto forma di corrente elettrica continua.

La scoperta dell'effetto fotovoltaico è merito del fisico francese Edmond Becquerel che scoprì casualmente, mentre effettuava delle esperienze su una cella elettrolitica in cui erano immersi due elettrodi di platino, che l'influenza dei raggi solari potevano produrre degli effetti elettrici.

Però solo nel 1954 si ha la prima cella FV commerciale in silicio (Person, Fuller, e Chopin), peraltro i costi iniziali di questa nuova tecnologia erano ingenti, quindi con un campo d'azione limitato a casi particolari, come l'alimentazione di satelliti artificiali lanciati nello spazio. Le sperimentazioni vennero comunque portate avanti e verso la metà degli anni settanta si iniziò a guardare anche ad altri usi del fotovoltaico, per applicazioni sulla terra, in impianti isolati, molto difficilmente raggiungibili con cavi o linee elettriche.

Oggi la ricerca è rivolta soprattutto all'abbassamento

dei costi di produzione, che dovrebbero abbassarsi di almeno 5 volte, alla loro durata ed al miglioramento dei loro rendimenti.

Infatti, l'efficienza di conversione di celle commerciali al silicio monocristallino è attualmente compresa tra il 10% e il 13% mentre realizzazioni speciali hanno raggiunto valori del 25%.

Dalla singola cella, di limitatissima produttività, nasce la necessità di unirle in gran numero per ottenerne energia elettrica in quantità significativa per l'uso, ecco quindi che esse vengono riunite in stringhe, poi in pannelli e quindi in sistemi di produzione con batterie tampone per cercare di uniformare le uscite con la variabilità dell'energia solare, ed altre apparecchiature del settore (convertitori, trasformatori, ecc...).

In conclusione le celle fotovoltaiche solari rappresentano per il prossimo futuro un obiettivo molto interessante e promettente, ed al tempo stesso una stimolante e fondamentale sfida tecnologica. Infatti, per renderle utilmente apprezzabili per un largo e diffuso impiego in ogni parte del mondo, occorre renderle più prestazionali in termini di: efficienza, affidabilità, durata, e principalmente in termini di costi, che dovranno ridursi, per essere commercialmente proponibili, almeno di 4/5 volte rispetto agli attuali.

Nel frattempo ci si cimenta nella meritevole realizzazione di impianti dimostrativi, i cui maggiori costi vengono finanziati dallo Stato, al fine di essere di stimolo ad altre realizzazioni ed accumulare esperienza nel settore.

In tale prospettiva si inserisce l'impianto che l'Università di Firenze ha voluto realizzare nel suo nuovo Polo Scientifico di Sesto Fiorentino con fondi propri, del MICA, della Regione Toscana e CE.

Stazione di Friburgo, facciata fotovoltaica



Energie rinnovabili ed integrazione architettonica

Prof. Marco Sala- Direttore vicario del Centro Interuniversitario ABITA - Dipartimento TAeD

Dal 1996 e' attivo il "Centro Interuniversitario di Ricerca per l'Architettura Bioecologica e l'Innovazione Tecnologica per l'Ambiente" ABITA.

ABITA rappresenta uno dei primi esempi istituzionali di collaborazione scientifica interuniversitaria nel settore dell'architettura per l'ambiente ed e' nato tra Università degli Studi di Firenze, Politecnico di Milano, Università di Napoli Federico II e Università di Roma "La Sapienza" a cui si aggiungono alla fine del 2004 anche l'Università di Genova, la Seconda Università di Napoli, l'Università Mediterranea di Reggio Calabria e il Politecnico di Torino.

Fin dall'inizio della sua attività il Centro e' stato concepito per collegare strutture di ricerca universitarie, per promuovere la cooperazione, lo scambio di informazioni, dati, metodi e programmi per sviluppare una migliore attività di ricerca, di insegnamento sul concetto di sostenibilità e per la diffusione dei principi della bioecologia in architettura e nelle tecnologie ambientali.

L'intento e' quello di sviluppare nelle Facoltà di Architettura che partecipano al Centro ABITA un supporto e una diffusione delle strategie di sostenibilità nei vari settori disciplinari, incoraggiando gli scambi di informazioni e traendo vantaggio dal confronto dei risultati della didattica ed elevando le caratteristiche e gli standard di queste trattazioni nell'insegnamento universitario.

Una delle finalità istituzionali infatti è sempre stata quella della formazione universitaria e di specializzazione post laurea, che si è concretizzata nella istituzione dei Corsi di perfezionamento e nei Corsi di Master di II livello, con collaborazioni ed esten-

sioni a livello europeo che vedono le tematiche della progettazione ambientale al centro della formazione didattica.

L'esigenza di una maggiore sostenibilità ambientale e di una corretta gestione energetica degli edifici necessita di una elevata qualità del processo di pianificazione e gestione del territorio e di realizzazione delle opere in base a criteri di eco-compatibilità ambientale.

Il requisito più importante per gestire l'integrazione architettonica delle energie rinnovabili non è solo la conoscenza dei principi fisici alla base delle tecnologie, ma l'acquisizione di una capacità di sintesi progettuale che derivi da esperienze didattiche basate sul confronto e l'analisi della sostenibilità di architetture contemporanee.

Il Master ed i Corsi di Perfezionamento ABITA rispondono a questa crescente necessità di nuove figure professionali con specifiche competenze nel campo delle strategie innovative per la diffusione delle energie rinnovabili e per la loro integrazione nell'ambiente urbano e nello spazio costruito.

L'obiettivo è offrire una formazione di alto livello rispetto a quella generalmente offerta nell'attuale quadro didattico delle facoltà di architettura e di ingegneria, e di fornire nuovi input per stimolare la creatività dei progettisti della Città del Domani: metodi e strumenti operativi per la progettazione dell'ambiente costruito in una prospettiva eco-sostenibile. L'obiettivo formativo quindi è definire una base culturale capace di formulare e gestire criteri progettuali eco-compatibili attraverso l'individuazione di procedure e strumenti che permettano di determinare modalità di intervento e validità economica sia per la nuova edilizia che per quella

ormai consolidata, in termini qualitativi, ambientali ed energetici, nel rispetto dell'ambiente.

A tal fine ABITA ha sviluppato all'interno del Master (vedi in seguito paragrafo attività formativa dell'impianto) numerose visite guidate a interessanti realizzazioni architettoniche in Toscana e in Italia, visitando impianti recentemente realizzati di sfruttamento dell'energia solare, ed anche collaborando alle attività di supporto e monitoraggio dei risultati, come nel progetto dell'impianto fotovoltaico di Sesto Fiorentino.

Il Master ed i corsi ABITA post laurea offrono infatti ai laureati delle facoltà di Architettura e Ingegneria, la possibilità di approfondire gli aspetti teorici ed applicativi dei rapporti architettura/clima ed energia/ambiente in un quadro di sviluppo sostenibile rivolgendo una particolare attenzione agli esiti delle trasformazioni ambientali nella fase del processo di progettazione / esecuzione degli interventi con la possibilità di attuare un controllo preventivo in una prospettiva eco-sostenibile.

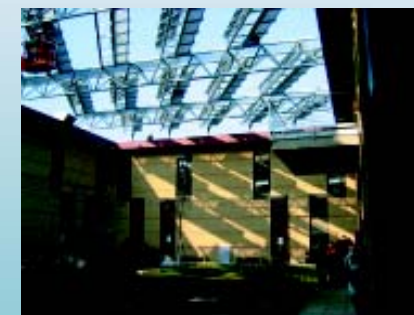


Fig. 1 Vista del cantiere dell'impianto fotovoltaico di Sesto Fiorentino con visita degli studenti dei corsi universitari ABITA.



Fig. 2,3 Tra le visite l'Ecoparco di Torino- Environment Park che rappresenta un'esperienza originale nel panorama dei Parchi Scientifici e Tecnologici in Europa per aver saputo coniugare innovazione tecnologica ed eco-efficienza, accogliendo al suo interno aziende ed Enti di ricerca appartenenti ai settori dell'Ambiente e dell'Information and Communication Technology (ICT).



Fig. 4,5,6 Quartiere Savonarola a Padova- Serra - Nell'ambito della riqualificazione del Quartiere Savonarola a Padova è stata realizzata una serra bioclimatica da utilizzarsi come giardino di inverno per appartamenti a ballatoio. Progetto realizzato nel 2003. Questa soluzione, applicata per la prima volta nel clima Italiano, è stata verificata e monitorata sia in estate che in inverno, rispondendo in maniera ottimale alle previsioni di progetto



Fig. 7,8 Scuola Materna di Ponzano ad Empoli. Scuola Materna di Ponzano ad Empoli- Realizzata nel 2001 dallo studio MSA Associati di Firenze, è stata realizzata con tecnologie per il risparmio energetico. Le principali tecnologie solari utilizzate sono state: orientamento ottimale, ottima fruibilità degli spazi interni da parte dei bambini, copertura ventilata, facciate ad elevato isolamento termico, serra di accumulo, finestre intelligenti, portico con schermature.



Fig. 9,10,11 Viste del cantiere Ospedale Meyer di Firenze progetto studio CSPE di Firenze, Vista interna della serra fotovoltaica, realizzazione prevista nel 2005.

Il progetto di ricerca Europea HOSPITALS, per l'ospedale Meyer di Firenze, mira a dimostrare la sostanziale possibilità di ridurre la domanda energetica nel settore ospedaliero europeo. Finanziato dalla Comunità Europea, vede partecipati 5 ospedali che ambiscono a diventare esempi di applicazione delle tecnologie mirate all'energy saving, sia per interventi di nuova costruzione che di adeguamento e retrofitting di strutture esistenti.

Il principale obiettivo è quindi l'integrazione di strategie



per il risparmio energetico, nel superamento delle vigenti normative, migliorando la qualità ecosistemica ed ambientale e promuovendo una gestione sostenibile delle risorse naturali.

Le strategie di intervento sono innovative per l'utilizzo di energie rinnovabili integrate ai criteri di progettazione bioclimatica per ottenere un migliore controllo dell'involucro edilizio e dell'efficienza energetica. Gli interventi sono diversi a seconda della localizzazione geografica e climatica: miglioramento della ventilazione naturale e utilizzo di luce naturale, di pannelli fotovoltaici, di pannelli solari, di pompe di calore ad alto rendimento, integrazione con il verde circostante e uso di vegetazione all'interno per migliorare il microclima e la qualità dell'aria, uso di double skin facade.

Il progetto fotovoltaico della serra, area reception dell'ospedale è stato seguito dalla Studio Marco Sala Associati ed è stato il progetto vincitore del programma realizzato per l'Alta Valenza architettonica del Ministero dell'Ambiente.

Numerosi sono i progetti di ricerca e formativi ai quali il centro Abita partecipa attivamente sia con la ricerca che con la partecipazione attiva dei docenti.

Il fotovoltaico tecnologia per l'integrazione architettonica

Arch. Lucia Ceccherini Nelli- Università degli Studi di Firenze - Dip TAeD, Centro Interuniversitario ABITA

Il mercato fotovoltaico mondiale ha conosciuto negli ultimi anni una notevole crescita, questo risultato è stato possibile grazie al parallelo sviluppo di numerose tipologie di applicazioni: in particolare per quegli impianti installati con sistemi solari fotovoltaici consente di evitare l'emissione in atmosfera di elementi inquinanti, quale l'anidride carbonica, responsabile dell'effetto serra. Recenti studi effettuati nei laboratori di ricerca in Giappone hanno dimostrato che gli attuali moduli fotovoltaici sono in grado di funzionare per addirittura cento anni, installare un sistema fotovoltaico significa quindi acquistare in anticipo l'energia elettrica che si utilizzerà nei prossimi decenni. Considerando quindi la lunga durata di vita dei sistemi solari fotovoltaici e i reali costi e quelli ambientali dell'energia da fonte tradizionale, il fotovoltaico è una tecnologia rinnovabile ancora più interessante.

La progettazione fotovoltaica integrata

La progettazione architettonica per l'integrazione della tecnologia fotovoltaica in edilizia, rappresenta un passo importante, che potrà rivoluzionare la concezione dell'edificio, dotandolo non solo di nuove potenzialità tecnologiche ma strumento di produzione diretta di energia, utilizzabile per le proprie e le altrui necessità.

I continui progressi dell'industria fotovoltaica, consentono di realizzare moduli con dimensioni sempre più simili ai componenti edilizi standard, come i componenti strutturali dei moduli, realizzati in vetro, metallo o materiale plastico, acquisendo così una elevata caratteristica estetica e funzionale di integrabilità architettonica.

La tecnologia fotovoltaica, basa il suo funzionamento sul silicio, un materiale avanzato, col quale è possibile realizzare una considerevole varietà di forme, co-



Fig.1-2, edifici per uffici in Germania

Fig. 3 Scuola in Olanda, Fig.4 Grattacielo a New York

perture, facciate di edifici, schermature ecc..

L'integrazione architettonica di un impianto fotovoltaico ha i seguenti vantaggi:

- se l'impianto è parte integrante dell'edificio, i costi della sua struttura di supporto e del terreno su cui insiste sono già coperti;
- la tecnologia fotovoltaica deve essere considerata come parte integrante dell'edificio e come tale è migliore il suo funzionamento se associata ad una corretta progettazione passiva dell'edificio;
- nel caso di tipologie di integrazione legate anche



Fig. 5 integrazione fv in facciata, edificio per uffici in Germania, Fig.6 Complesso sportivo ad Amersfoort, Fig.7 Istituto bancario a Monaco, Fig.8 Edifici a schiera a Friburgo.

a soluzioni bioclimatiche, come i sistemi di ombreggiamento e le facciate ventilate, un componente costruttivo fotovoltaico può anche incidere direttamente sulla riduzione dei costi di gestione termica dell'edificio, ad esempio sul raffrescamento artificiale;

- esiste un beneficio economico particolarmente interessante per gli edifici ad uso commerciale, il consumo della maggior parte dell'energia richiesta avviene durante il giorno, quando questa è più costosa.
- l'energia prodotta dal fotovoltaico fa risparmiare i costi di picco dell'equivalente elettricità acquistata dall'ente erogatore. Inoltre l'elettricità prodotta in eccedenza potrà essere ceduta dal proprietario all'ente erogatore e riacquisita all'occorrenza, in



Fig. 9 Dettaglio della facciata del complesso Bed Zed, vicino Londra.

fasce più economiche, come quelle serali e notturne;

- I sistemi fotovoltaici connessi alla rete sono più economici di quelli non connessi non dovendo essere supportati da batterie e la corrente viene generata sul posto ove viene consumata;
- Nei sistemi connessi alla rete, gli impianti fotovoltaici operano in parallelo con la rete di distribuzione elettrica, cosicché una eventuale maggiore domanda di energia se non coperta dall'impianto fotovoltaico è coperta dalla rete di distribuzione elettrica.
- Esiste infine una componente "sociale" che caratterizza questo nuovo modo di produrre energia: i generatori fotovoltaici convenzionali sono di consuetudine di proprietà di enti erogatori che vendono elettricità ai loro clienti. Il fotovoltaico integrato alla costruzione, invece, appartiene al proprietario dell'edificio. L'energia prodotta è integralmente di sua proprietà e sarà in buona parte utilizzata direttamente dalle sue utenze. In tal modo si creano i presupposti per un nuovo concetto di produzione locale di energia, una sorta di distribuzione capillare del sistema produttivo compo-



Fig. 10 Edifici residenziali ad Ameerfoort in Olanda.

sto da medi, piccoli e piccolissimi generatori fotovoltaici strettamente integrati negli elementi edilizi e nelle infrastrutture urbane.

Tipologie fotovoltaiche applicate all'edilizia

Gli elementi che costituiscono un impianto fotovoltaico sono i moduli. La selezione dei moduli, le sue caratteristiche estetiche in termini di geometria, dimensione, colore, sistema di montaggio (con telaio o senza), influirà sull'intero aspetto dell'edificio e sul carattere architettonico dell'intervento. I moduli sono l'elemento più caratteristico e riconoscibile di un sistema fotovoltaico. Sono abbastanza visibili dall'esterno dell'edificio e dovranno essere generalmente posizionati in modo da evitare qualsiasi tipo di ombra che possa ridurre la loro efficienza.

La forma, il colore e la struttura delle celle e del vetro costituiscono i più importanti parametri estetici di un modulo fotovoltaico. Il bilancio tra la quantità e la qualità del vetro e la quantità e tipo di celle utilizzate in un modulo fa parte del processo progettuale diventando rilevante sia per il modulo stesso sia per l'intero edificio. Queste caratteristiche possono essere utilizzate come elementi di decoro ma anche funzionali.



Fig. 11 Okotec, edificio per uffici a Berlino

Esistono tre generali categorie per integrare i sistemi fotovoltaici negli edifici.

Per prima, l'integrazione nelle coperture, che possono sostituire le coperture tradizionali, sia inclinate che piane, con manti di copertura speciali fotovoltaici (tegole fotovoltaiche, coperture metalliche con fotovoltaico, ecc.). La seconda categoria riguarda l'integrazione dei sistemi di facciata, sostituendo le facciate vetrate tradizionali con altre integrate con sistemi fotovoltaici, ed infine l'integrazione con i sistemi frangisole e schermi solari, che potranno essere posti sia in copertura che in facciata.

Le migliori integrazioni potranno essere realizzate in edifici di nuova costruzione, mentre in caso di ristrutturazioni l'integrazione sarà più difficile e spesso più onerosa, a meno che l'intervento preveda di ristrutturare parti dell'edificio con altre integrate con fotovoltaico, in modo da compensare i costi manutentivi con i costi delle nuove strutture integrate.

L'utilizzo dei moduli fotovoltaici al posto di tamponamenti, facciate continue, spioventi, cortine o coperture di vario tipo, potrebbe creare in alcuni casi problemi di incompatibilità funzionale ed è pertanto necessario accertarsi che le caratteristiche dei componenti utilizzati, oltre a quelle elettriche e meccaniche, siano tali da rispettare tutti i vincoli tecnici richiesti.



Fig. 12 Edificio scolastico in Olanda Fig. 13 Vela fotovoltaica vicino a Bressanone Fig. 14 Dineyworld ad Orlando USA



Particolare rilevanza assume il comportamento termico invernale, il comportamento termico estivo e il comportamento acustico. Un corretto utilizzo termico dei moduli fotovoltaici integrati in edilizia, permette di ottenere una riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento invernale ed il raffrescamento estivo.

Il comportamento termico invernale, le caratteristiche di isolamento termico dell'insieme dei moduli fotovoltaici e delle relative strutture di supporto e sostegno devono essere tali da garantire una bassa dispersione del calore dall'interno verso l'esterno. Il comportamento termico estivo è più complesso da valutare di quello invernale perché oltre alla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno, che in genere risulta inferiore rispetto a quella invernale, entra in gioco anche l'irraggiamento solare, il quale costituisce il contributo più significativo per ciò che riguarda lo scambio termico.

Sistemi integrati con le coperture

Le coperture inclinate sono generalmente preferite per il posizionamento dei moduli FV per tre ragioni. La prima riguarda la radiazione solare incidente, e l'altra riguarda il posizionamento dei moduli fotovoltaici,

perché già in parte inclinati. L'inclinazione ottimale, usualmente equivale alla latitudine del luogo, variazioni di 15° avranno un basso impatto sul rendimento complessivo dell'impianto.

Le coperture sono caratterizzate dai seguenti elementi:

- Generalmente sono prive di sistemi di schermatura
- La pendenza della copertura spesso non condiziona l'installazione di impianti FV
- Esteticamente e funzionalmente sono semplici da integrare

Coperture ventilate

Le coperture sono assai più facili da ventilare rispetto alle facciate ed il surriscaldamento delle celle provoca meno trasmissione di calore interna in copertura rispetto ad i sistemi di facciata.

Per le coperture inclinate è necessario utilizzare un supporto esterno per montare i moduli fotovoltaici sulla copertura del tetto. Questo sistema consente una camera d'aria di 100 mm tra i moduli e la struttura di copertura, che incorpora l'isolamento e i cavi di collegamento elettrico dell'impianto. Per diverse soluzioni di

lucernari le aperture a nord consentono di dissipare direttamente il calore prodotto in eccesso.

Sistemi di Facciata e pareti vetrate continue

Il sistema costituito da facciata continua vetrata e FV è un sistema ormai ampiamente utilizzato in numerosi edifici di prestigio. Le superfici trasparenti sono generalmente con doppio vetro e le superfici opache sono realizzate con vetri opachi o pannelli isolanti. I moduli fotovoltaici sono preassemblati in fabbrica nelle unità con doppio vetro. Il vetro esterno sarà di tipo temperato, intercapedine d'aria e vetro interno; lo spessore generale sarà di 300 mm. I moduli semitrasparenti fotovoltaici avranno l'effetto di schermare parzialmente la luce ed avranno collocazione speciale nella facciata, ove occorra ridurre parzialmente l'ingresso della luce naturale, le aree che dovranno garantire una buona visibilità potranno essere lasciate trasparenti. Infine le parti oscuranti potranno essere realizzate con un numero maggiore di celle fotovoltaiche opache. In questo tipo di tecnologia, deve essere data particolare attenzione al sistema dei montanti generalmente in alluminio modulare in cui verranno passati i cavi per il collegamento elettrico dei moduli fotovoltaici.

Schermature fisse

Tutti i sistemi finestrati necessitano di sistemi per il controllo dell'illuminazione naturale. Spesso vengono utilizzate tecnologie per l'ombreggiamento poste nella parte interna dell'edificio. Lo svantaggio di tali soluzioni è la riduzione di visibilità esterna ed il surriscaldamento della parete esterna dovuto



Fig. 15. Edificio per esposizioni, BP Solar

all'irraggiamento solare diretto.

Le schermature esterne con fotovoltaico possono essere di tipo fisso o mobile, l'orientamento ottimale è di circa 40° per l'Italia. Le schermature fotovoltaiche normalmente sono realizzate con un pannello (spesso in alluminio) aggettante in facciata, posizionato su supporti metallici per consentire il passaggio dell'acqua e la ventilazione. La distanza degli elementi non potrà essere inferiore a 100 mm per consentire la ventilazione dei moduli fotovoltaici. Sui montanti potranno essere posizionali anche i cablaggi del sistema fotovoltaico. Ci sono alcuni tipi di schermatura fotovoltaici montati su supporti di vetro, essi consentono una buona visione esterna e architettonicamente risultano avere una elevata valenza estetica.

Conclusioni

L'integrazione architettonica del fotovoltaico offre benefici che vanno ben oltre il risparmio energetico. L'alta valenza dell'integrazione fotovoltaica può incremen-

tare notevolmente il valore estetico dell'edificio e al tempo stesso produrre energia pulita. Le moderne tecniche di costruzioni permettono l'uso di moduli di facciata prefabbricati che includono tutte le connessioni interne e le sue protezioni.

I risultati conseguiti dai recenti programmi di sviluppo e ricerca internazionali e le risposte ottenute nel settore degli investimenti privati fanno prevedere una notevole crescita dell'integrazione architettonica del fotovoltaico. Funzionale allo sviluppo di questa tecnologia è la riduzione del costo dei moduli, obiettivo che può essere raggiunto sia con lo sviluppo di nuove strutture economiche, sia con la realizzazione di nuovi componenti fotovoltaici per l'edilizia.



Fig. 16 Solar Fabrik a Friburgo

Fig. 17 Deposito autoveicoli dei pompieri in Olanda.



Il progetto fotovoltaico integrato

Arch. Lucia Ceccherini Nelli

Premessa

Il progetto ha previsto la realizzazione di un impianto fotovoltaico integrato della potenza di 20 kWp installato sulla corte interna del fabbricato adibito ad aule e biblioteca del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino in via Bernardini 6.

L'integrazione è stata realizzata utilizzando quattro lunghe travi in ferro, reticolari, di 22 metri ciascuna, in modo da diventare, al contempo, sostegno e passerelle per la ispezionabilità dei moduli fotovoltaici, mentre in estate l'intervento diventa, un interessante sistema di schermatura della corte.

La struttura, realizzata con travi reticolari e passerelle supporta i moduli fotovoltaici vetro-tedlar trasparenti e consente di ottenere un buon filtro per l'illuminazione naturale degli ambienti dell'edificio che si affacciano sulla corte e la schermatura ottenuta è graduale e lascia passare una buona quantità di luce. L'impianto fotovoltaico funziona in parallelo con la rete di distribuzione dell'energia elettrica di bassa tensione e provvede a coprire parzialmente il fabbisogno energetico dell'edificio.

Il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla rete elettrica di distribuzione ha lo scopo di contribuire al fabbisogno energetico dell'utenza alla quale è collegato e consente:

- una produzione di energia elettrica senza alcuna emissione di sostanze inquinanti;
- risparmio di combustibile fossile;
- nessun inquinamento acustico;



Fase di montaggio dei moduli fotovoltaici

- l'applicazione di soluzioni di progettazione perfettamente compatibili con le esigenze di tutela del territorio.



1. Framework

The PV Enlargement project, co-financed by the European Commission in the frame of the Fifth Framework Programme aims at demonstrating Europe's commitment for improved energy efficiency and cost-effectiveness of PV systems, by supporting the realisation of innovative grid-connected PV technology: 29 PV systems with a total capacity of more than 1,2 MWp. The University of Florence is participating to PV Enlargement and has recently realised a 20 kWp innovative shading PV system in the new Technological complex in Sesto Fiorentino, the plant has been supported by the Italian Ministry of Environment and the Tuscany Region, in the frame of the National Roof Top Programme.

1.1. Purpose of the work

The building is located in the new scientific Pole in Sesto Fiorentino near Florence in Italy. The building is the first in which the University has believed for the experimentation of a photovoltaic integration. The 4.000 mq three storey building with a 540 mq courtyard, is generally used for teaching activities. The courtyard is central and the project is going to realise an open air shading device roof.

1.2. Approach

The need to reconcile the demands of building use with energy conservation and generation was addressed in parallel by the need to reconcile the building with the site. Key issues, here, related to layout, orientation and climate. The shading roof is 45 degree oriented, thus maximizing solar radiation at this northerly latitude.

1.3. Scientific innovation and relevance

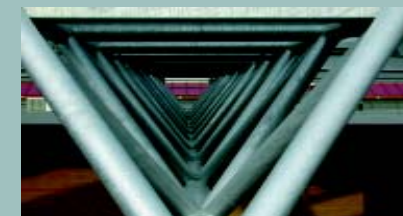
The project is characterised by a architectural integration – in order to shade the court space - of semi-transparent PV systems, achieving an energy power of 20kWp.

The PV integration into architectural design offers more than cost benefits, it allows to create environmentally design and energy efficient buildings.

The building is a very recent construction for the accommodation of students classrooms of the Faculties of Physic and Chemistry.

The PV installation is already realised with crystalline photovoltaic modules integrated with a semitransparent shading device mounted on reticular beams.

The distance among the shading devices (about a 1,50 meter) is calculated in order to allow the benefit of direct solar radiation without the effect of shading. The steel structure is connected with the perimeter of the court and it will appear light, three-dimensional and vertical oriented and sloping to the sun. The PV installation has been ultimted, by Gechelin Group company, in March 2004.



Descrizione del sistema

Il sistema fotovoltaico, ha una potenza installata di 20 kWp ed è composto da n° 160 moduli fotovoltaici di tipo vetro/teflon trasparente con un potenza di picco media di 125 W/cadauno, suddivisi in cinque sottosistemi da 4000 Wp ciascuno.

Ogni sottosistema, fa capo ad un inverter, completo di scatola di interconnessione.

L'impianto fotovoltaico è costituito dai seguenti elementi:

- 1 Struttura principale – 4 travi reticolari di circa 22 m ciascuna posizionata sul lato corto della corte interna
- 2 Struttura secondaria – 25 travi realizzate con 2 travi IPE appoggiate alle travi reticolari
- 3 Struttura di sostegno moduli – i moduli sono disposti per il lato lungo in direzione delle travi di sostegno. I moduli in vetro/teflon trasparente sono forniti di telaio realizzato con profilo in alluminio forato sul retro su entrambi i lati. I moduli sono poi ancorati (con avvitatura) a profili omega saldati a cavalletti formati da tre profili ad L in acciaio zincato.
- 4 Passerelle – per garantire la manutenzione dell'impianto fotovoltaico sono state realizzate in grigliato le passerelle poste: sulle travi principali e secondarie a formare un camminamento largo 1 m nel primo caso e 60 cm nel secondo.
- 5 Sui camminamenti sono state montate 4 "linee di vita" da utilizzarsi con cinture di sicurezza per consentire la manutenzione dell'impianto in condizioni di sicurezza.

Particolare della struttura metallica



I moduli fotovoltaici, sono inclinati a 35° sul piano orizzontale ed orientati a sud.

L'energia elettrica in corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici, convertita in energia elettrica in corrente alternata a 220 V,50Hz viene immessa nella rete Enel di distribuzione.

L'energia prodotta viene misurata mediante apposito contatore, installato dal gestore della rete, e contabilizzata secondo quanto previsto nella delibera n° 224/00 dell'Autorità per l'energia.

Funzionamento del sistema

Il sistema ha un funzionamento completamente automatico e non richiede ausilio per il regolare esercizio. Durante le prime ore della giornata, quando è raggiunta una soglia minima di irraggiamento sul piano dei moduli, il sistema inizia automaticamente ad inseguire il punto di massima potenza del campo fotovoltaico, modificando la tensione (corrente) lato continua per estrarre la massima potenza dal campo.

Caratteristiche del sistema

Il sistema si compone di cinque sottosistemi per una potenza totale installata di circa 20 kWp.

Ogni sottosistema (4000 Wp) è collegato in serie.

I dati relativi ad ogni stringa sono:

- Potenza nominale 4000 Wp
- Tensione a circuito aperto Voc 516,8 V
- Corrente di corto circuito Isc 10 A
- Tensione di massima potenza Vm 414,4 V



- Corrente alla massima potenza Im 9,6 A
- Quadro di campo con scaricatori ed interruttori lato DC ed AC.

La scelta della suddivisione del sistema in sottosistemi facenti capo ciascuno ad un inverter dedicato è stata fatta in modo da garantire comunque il funzionamento dell'impianto anche in presenza di mal funzionamento di uno dei sottosistemi. Ciò a dimostrazione della estrema adattabilità e flessibilità della tecnologia fotovoltaica nel potersi inserire in realtà architettoniche diverse tra loro, mantenendo inalterata l'efficienza tecnologica.

Produttività del Sistema

Sulla base dei valori di radiazione al suolo e sul piano dei moduli (35°), ed assumendo un rendimento medio del sistema del 75% ai vari regimi di funzionamento, la produttività energetica del sistema, intesa come energia elettrica ceduta alla rete Enel di distribuzione è pari a: **ca. 32,996 kWh/anno**. (irraggiamento medio 4,52 kWh/giorno $20 \times 4,52 \times 365 = 32,996$ kWh/anno)

Moduli fotovoltaici

I moduli costituenti il generatore fotovoltaico sono del tipo vetro/tecliar trasparente in silicio policristallino, le celle sono collegate in serie tra loro ed incapsulate in un sandwich con vetro ad alta trasmittanza anteriore, incapsulante E.V.A. e Tedlar posteriore, aventi le seguenti caratteristiche principali:

- Potenza minima (garantita): 125 Wp
- Dimensioni: 1237 x 822 x 38 mm

Modulo fotovoltaico Photowatt vetro- tedlar



- Tensione a vuoto Voc: 25,7 V
- Corrente di corto circuito Isc: 5A
- Tensione alla max potenza Vm: 32 V
- Corrente alla max potenza Im: 5,64 A
- Peso: 12,5 kg
- Cornice: in alluminio anodizzato
- Temperatura B = - 118 mV/°C
- Potenza 1000W/m² : 25°C : AM 1,5
- Potenza massima 600V DC



Particolari della struttura



Stringhe

Ogni stringa è composta da 16 moduli connessi in serie con le seguenti caratteristiche:

Numero di moduli	16
Potenza di stringa	2,000 W _p
Tensione a circuito aperto	516,8 V
Corrente di corto circuito	5 A
Potenza massima	414,4 V
Corrente massima	4,8 A

La sezione di interfaccia tra le stringhe di ogni quadro di consegna viene effettuata dal diodo di blocco.

Lato sud dell'impianto

Connessioni di stringa

Sono state realizzate 5 connessioni di stringa per mettere le stringhe in parallelo in gruppi di 2.

Potenza	4,000 W _p
Tensione a circuito aperto (V)	516,8 V
Tensione a circuito aperto	9,6 A
Potenza massima	414,4 V
Corrente massima	10 A

I quadri di ogni stringa sono caratterizzati da:

- 2 stringhe in parallelo con interruttore in grado di operare alla potenza massima
- Il quadro è protetto dalle sovratensioni.

Le stringhe connesse ai quadri di campo sono soggette alle seguenti regolamentazioni:

- Parti elettriche: CEI - IEC
- Strutture: ASTM - D635

Gruppo di conversione e di consegna dell'energia elettrica

Questo gruppo è formato da cinque inverter dedicati ognuno ad un sottosistema, completo di scatola di connessione, per la conversione dell'energia in corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico in energia in corrente alternata, per l'immissione in rete.

L'inverter è del tipo a commutazione forzata a MOSFET, e comprende le logiche di comando, di protezione, di autodiagnostica e delle misure con predisposizione per la trasmissione dei dati a distanza.

Esso è provvisto di separazione galvanica tra moduli fotovoltaici e rete 230 Vca ed è protetto contro il funzionamento ad isola e quindi, al mancare della tensione di rete, si scollega automaticamente dalla rete stessa e resta in attesa del ripristino delle normali

condizioni operative, prima di procedere nuovamente ed in modo automatico, alla riconnessione.

L'inverter è inoltre dotato del dispositivo di inseguimento del punto di massima potenza MPPT (Maximum Point Power Tracker) per ottimizzare il funzionamento del sistema al variare delle condizioni operative ed ambientali, in modo da immettere in rete sempre la massima energia che il generatore fotovoltaico può erogare istantaneamente.

La scatola di collegamento è predisposta per l'ingresso delle stringhe dal generatore e per il collegamento all'inverter.

In essa sono presenti due interruttori azionabili sotto carico che permettono di sezionare l'inverter sia dal generatore che dalla rete 230 Vca; due varistori provvedono alla protezione contro le sovratensioni.

Poiché l'impianto fotovoltaico in oggetto viene realizzato nell'ambito di un contratto di ricerca europeo



che prevede l'installazione di impianti fotovoltaici monitorabili e con caratteristiche comuni, gli inverter utilizzati sono stati scelti dal coordinatore del progetto europeo: si tratta di 5 inverter prodotti dalla ditta **Sun Power Solartechnik GmbH, modello SP 3100-600**, inverter monofase da 3.3 kW lato continua (ovvero 4.2 kWp lato fotovoltaico).

Il sistema di conversione, controllo, trasformazione e consegna dell'energia prodotta è costituito dai 5 inverter monofase collegati al generatore FV per mezzo della sezione di arrivo e alla rete elettrica BT c.a. tramite la sezione di consegna. Il gruppo di conversione è costituito principalmente da:

- Sezione di arrivo c.c. con organo di sezionamento, misure c.c., relè d'isolamento;
- Gruppo convertitore vero e proprio, provvisto di ponte a IGBT a commutazione forzata, filtri lato corrente continua e di uscita, unità di controllo e misura, protezioni, predisposizione interfaccia al sistema di acquisizione dati;
- Sezione in corrente alternata per la consegna dell'energia prodotta, contenente il trasformatore di potenza, munita degli organi di manovra e dispositivi di comando per il parallelo con la rete, dispositivo di protezione secondo le CEI 11-20.
- Dispositivo d'interfaccia con la rete in accordo con le disposizioni di ENEL Distribuzione, DK 5950, in conformità alle norme CEI 11.20.

Caratteristiche e condizioni di funzionamento di ciascuno dei 5 inverter utilizzati:

Dita produttrice: Sun Power Solartechnik
Modello SP 3100-600



I 5 inverter posti nel locale tecnico



Particolare di uno degli inverter



Condizioni ambientali del vano contenente il gruppo

Temperatura di funzionamento (°C)	-10°C + 60°C
Temperatura di stoccaggio (°C)	-20°C + 60°C
Umidità relativa (%)	95 max

Cavi elettrici, rete di terra e materiali accessori

Il collegamento elettrico tra i vari componenti il sistema è stato realizzato con cavi con conduttori in rame, isolante e guaina in PVC e grado di isolamento richiesto.

L'interconnessione tra i moduli fotovoltaici è stata realizzata con cavi in aria staffati alle strutture di sostegno dei moduli stessi. Il collegamento tra moduli e quadro di campo, e da questo al gruppo di conversione, è stato realizzato con cavi infilati in tubi di protezione in PVC del tipo rigido e/o corrugato.

L'equipotenzialità tra i componenti del sistema è garantita mediante giunzioni meccaniche e cavallotti di messa a terra.

Il sistema è comprensivo di materiali accessori, quali: canaline e tubi portacavi, cassetta, ecc. necessari a garantire l'esecuzione a "perfetta regola d'arte".



Particolare dei collegamenti elettrici dei sottosistemi

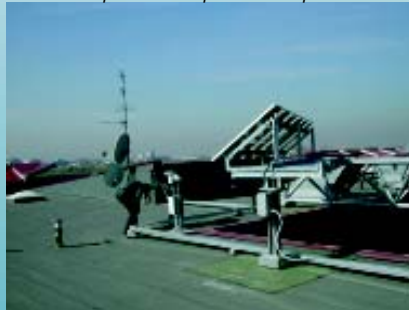
Potenza di picco del generatore fotovoltaico (kWp)	4.2
Potenza nominale di uscita (kW)	3.1
Tensione massima a vuoto (V)	600
Tensione nominale (range di funzionamento MPPT)	280 +600
Rendimento a 20% comprese perdite trasformatore (%)	>90.9
Rendimento a 50% comprese perdite trasformatore (%)	>94
Rendimento a 100% comprese perdite trasformatore (%)	>93
Perdite a vuoto comprese le perdite trasformatore (W)	< 3
Numero di fasi	1
Tensione nominale di rete (V)	400 +/-10%
Frequenza di uscita (Hz)	50 +/-2%
Cosφ	1
Grado di protezione IP	IP33
Distorsione armoniche	Secondo normativa vigente
Rumore ad 1 metro (dB)	< 60



Particolare delle travi reticolari principali
Il piranometro



Vista dell'impianto e dei quadri di campo



Posizione del piranometro e collegamenti elettrici



2. SYSTEM DESCRIPTION

The system is composed by 160 glass/transparent tedlar modules (PW1250), peak power 125 W, connected in series, forming 10 strings of 2 kWp; the strings are connected in parallel into five subsystem of 4 kWp each.

Every subsystem is connected to one inverter.

The photovoltaic system is composed by the following:

- **Principle structure** – 4 reticular beams of 22 m each positioned on the shortest side of the internal court cover.
- **Secondary structure** – 25 beams realised with 2 steel IPE supported by the principal beams
- **Modules structure** – modules are positioned for the longest side along beam direction, the photovoltaic modules, glass/transparent-tedlar are supported by an aluminium tripod. Modules are then sustained and screw down to the aluminium easels realised with three L steel profiles.
- **Footbridges** – to guarantee maintenance operations and security grill footbridges have been realised (made of Alugril or Orsogril) these are positioned behind the PV modules on the principal and secondary beams. The final design foresaw many handrails, but during a function check, during the realisation phase, it has been decided to keep the handrails off to improve photovoltaic efficiency in wintertime.

Photovoltaic modules are 35° tilted and south oriented. The electricity produced in DC current by PV modules is fed, after conversion into alternate 400 V and 50Hz, into the building grid connected to the Medium Voltage Distribution National Grid. The energy produced will be measured through a dedicated meter, installed by the grid manager and accounted under the directive

n° 224/00 by the National Energy Authority.

2.1. System characteristics

As anticipated, the system is composed by five subsystems for a total 20 kWp power installed. Each string is realised by 16 modules.

Data of each subsystem:

- Nominal power 4000 Wp
- Open circuit tension Voc 516,8 V
- Short circuit current Isc 10 A
- Maximum power tension Vm 414,4 V
- Maximum power current Im 9,6 A

The choice to divide the system into subsystems with an inverter dedicated for each subsystem is intended to guarantee system functionality also in case of partial malfunctioning, maintaining most of the efficiency and functionality of the system.

2.2. System production

On the base of sun values on floor and on the modules plane tilted 35°, the expected productivity of the plant is around 32,000 kWh/year.

This value is referred to the energy produced by the photovoltaic generator, in reality the energy fed into the grid will be reduced for losses due to: dust on the PV modules, chemical erosion of the junctions and connections, losses due to diode cutting off, modules mismatching, inverter efficiency (generally 90%), eventual stops of the system. The value of these losses has been estimate around 25% of the energy produced.

Assuming then a global conversion efficiency of 70%: the foreseen plant productivity is around 22,400 kWh.



3. PHOTOVOLTAIC MODULES, STRINGS, GRID CONNECTION

3.1 Photovoltaic modules

The PW1250 - Photowatt module is a high efficiency module designed for large scale applications. It is made of 6 x 9 high efficiency (up to 15%) polycrystalline silicon solar cells.

The PW1250 is using a new reinforced transparent anodised aluminium frame, designed to meet Photowatt's High Quality Standards for corrosion resistance (lifetime tested 3 times longer than requested by CEI 61215) A UL version is available on request

- each module is protected by 3 bypass diodes (1 bypass diode per 18 cells)

Module weight : 12.5 kg

Module Size : 1237 x 822 x 38 mm.

Electrical ratings:

Typical power (W) 125

Operating voltage (V) 25,7

Current operating voltage (A) 4,8

Short circuit current (A) 5

Open circuit voltage (V) 32

Minimum power (W) 118,8

Temperature coefficients B = - 118 mV/°C

Power specifications at 1000W/m² : 25°C : AM 1,5

Maximum system voltage : 600V DC

3.2. String

Each string is composed of 16 modules connected in series with the following characteristics.

Number of PV modules	16
String power	2,000 W _p
Open circuit voltage	516,8 V
Short circuit current	5 A
Maximum system voltage	414,4 V

Maximum operating current 4,8 A

The interface section between the strings and each control panel is sectional on each polarity and provided by block diode, suitable for string nominal current. Over tension loader should has been installed at inverter entrance, between each polarity and earth.

3.3. String connection boards

5 string connection boards will be realised in order to parallel the strings in groups of 2.

Parallel Boards

Power 4,000 W_p

Open circuit voltage (V) 516,8 V

Short circuit current 9,6 A

Maximum system voltage 414,4 V

Maximum operating voltage 10 A

Every string connection box is characterised by:

- The parallel of the 2 strings is realised by means of switches able to operate at full load
- The output of the board is protected from over voltage by means of dischargers

The string connection board is subjected to the following regulations:

- Electric parts: CEI - IEC
- Structure: ASTM - D635

The parallel switch-boards are suitable for outdoor operation, waterproof and with a security protection IP65, realised with a resistant resin, having the following specifications:

—tested up to 5000 V voltage

— normal operation between -20 °C and 60 °C

3.4 Inverters

The inverter is MOSFET forced commutation type,

and it uses electronic signals to operate protection devices and self diagnosis . Inverter are able to share data with a remote user.

Each inverter provides galvanic insulation between the PV field and the grid, 230 V AC, and it is protected against islanding It is able to separate automatically from the grid and it is able to automatically recover normal parallel operation once normal grid parameters are restored,

The inverters are provided with an MPPT, Maximum Point Power Tracker to maximize system power output to present environmental conditions. Connection box is adapted for the string connection from one side and to the inverter connection to the other.

In the conbox are located 2 switches to break the DC circuit even during operation they allow to separate the inverter from the PV generator and from the grid 230 V AC; two varying impedances provide the protection against over-voltages.

The inverters have been placed in the technical room near the roof where the PV generator is installed.

3.5. Grid connection

The inverters are connected to the three phase building electric system. In particular, to minimise the imbalance of the 3 phases, the 5 inverters are connected as follow: two in parallel to phase 1, two to phase 2 and one on phase 3.

The single inverter connection are realised on the least loaded phase of the system; all negative polarities of the inverters are connected together to the neuter conductor.

	2 inverter parallel	1 inverter
String Number	4	2
Power AC	6,200 W AC	3,100 W

Interno della corte con l'impianto fotovoltaico ultimato



Alcune fasi durante il montaggio dell'impianto



Un progetto di integrazione architettonica del fotovoltaico



L'attività formativa

Arch. Lucia Ceccherini Nelli

Durante il montaggio dell'impianto, sono state organizzate diverse visite in cantiere per corsi di laurea e Master dell'Area Tecnologica. Agli studenti sono state fornite informazioni sui moduli e sulle caratteristiche tecniche dell'impianto fotovoltaico.

Le visite sono state precedute da lezioni in aula sulla tecnologia fotovoltaica. Altre visite all'impianto verranno organizzate durante l'esercizio dell'impianto in fase di monitoraggio.

Con l'adesione al progetto di ricerca Europeo "PV Enlargement" verrà eseguito un programma di monitoraggio, che viene seguito da una postazione nel locale tecnico, con un computer dedicato fornito di un programma appositamente realizzato per l'acquisizione dei dati. I dati con i risultati del monitoraggio vengono trasmessi in rete, in un portale dedicato, al fine di poterli rendere disponibili ai partner della Ricerca Europea a cui il progetto fa parte ed agli studiosi del settore.

Per il controllo della funzionalità dell'impianto e della sua diagnostica il sistema di monitoraggio è in grado di interfacciarsi tramite software dedicato con un PC dal quale sarà possibile interrogare in ogni istante il funzionamento dell'impianto con l'indicazione di:

- diagnostica di ognuno dei convertitori statici installati con pagine grafiche indicanti gli eventuali allarmi di malfunzionamento;
- indicazioni di potenza in ingresso ed in uscita, tensione, corrente erogate in corrente continua ed in corrente alternata per ciascuno dei due convertitori;
- archivio storico delle grandezze elettriche negli ultimi mesi di funzionamento.



Visite guidate all'impianto



4. DIDACTIC ACTIVITY

During the work phases of the PV system, the strong educational character, is emerged with many visits for some bachelor and Master courses of the Technological Area.

The students have been given information on the photovoltaic technology and the technical characteristics of the photovoltaic system.

Other visits will be programmed in function of the system monitoring. A computer dedicated positioned near the system, in the technical room, is equipped with a new monitoring program purposely realized for the acquisition of the data.

Data are transmitted in internet, in a dedicated portal, with the aim to diffuse energy production of the system through the partner of the European research and to the University students.

The elaboration of the data of the historical file is realised with the development of graphs and charts, and it will allow to have a report every six months.

The web site portal of the PV system is in Italian and in English and the address is:

http://web.taed.unifi.it/abitaweb/sesto/FVsesto_engl.htm



Visita al locale tecnico



Il monitoraggio, la verifica funzionale e il display di visualizzazione dei dati

Ing. Gianluca Tondi e Ing. Lorenzo Corgella, ETA-Florence

Sistema di Controllo e Monitoraggio (5CM)

Per la diagnostica e il controllo in tempo reale dell'impianto fotovoltaico del Polo Scientifico universitario di Sesto Fiorentino è stato installato un sofisticato impianto di monitoraggio: l'impianto sarà completamente operativo alla fine dell'estate 2004 e i costi previsti per la realizzazione saranno ampiamente compensati da una maggiore efficienza nella produzione elettrica e da una più uniforme prestazione generale dell'impianto fotovoltaico.

Gli **obiettivi** del monitoraggio si riassumono nei seguenti punti:

- assicurare che il sistema complessivo funzioni correttamente
- valutare le prestazioni dei vari componenti
- individuare le strumentazioni difettose o i componenti che lavorano al di sotto delle proprie capacità nominali
- permettere la calibrazione dell'impianto FT per una maggiore efficienza produttiva
- suggerire linee guida per possibili miglioramenti e ottimizzazioni
- L'esperienza ottenuta durante l'attività di monitoraggio costituirà un importante bagaglio di esperienza per la realizzazione di impianti fotovoltaici della stessa misura.

Metodologia

Una volta identificati gli output desiderati sono stati definiti i parametri del monitoraggio, il formato dei dati e la durata delle indagini delle misurazioni.



Alcuni momenti dell'installazione del software di monitoraggio



La metodologia utilizzata ha permesso di identificare, prima della vera e propria fase di installazione, i principali passi da seguire durante la costruzione dell'im-



Unità con DL100 - trasmissione dati inverter

pianto fotovoltaico in modo da evitare che le attività di monitoraggio fossero considerate cronologicamente come "l'ultima parte del progetto": il sistema di monitoraggio installato è stato progettato per interferire il meno possibile con l'impianto fotovoltaico.

Durante la fase di progettazione preliminare sono state considerate prioritarie le seguenti informazioni:

- Valore della corrente elettrica prodotta (informazione di base)
- Prestazioni delle varie componenti del sistema (informazioni tecniche di dettagliate)
- Rilevazioni e misure complementari (informazioni specifiche)

Tenendo in considerazione che una incorretta connessione dei sensori alla strumentazione di acquisizione dati può portare alla raccolta di dati inutili e una imperfetta calibrazione delle strumentazioni porta inevitabilmente ad accumulare dati poi inutilizzabili, grosso impegno è stato riposto nel realizzare un impianto, a regola d'arte, il più possibile esente da errori.

Un agenda cartacea è stata predisposta nella stanza dell'impianto per annotare tutte le necessarie informazioni relative agli interventi di manutenzione, ai re-



Quadro in cui sono state inseriti i dispositivi di ricezione dati dall'impianto FV



soconti di funzionamento imperfetti o guasti, interventi manuali e cambi di configurazioni e componenti. I dati monitorati non tengono conto delle variazioni dovute all'ora legale ed è stata tenuta in importante considerazione la sincronia tra i dispositivi per permettere una temporeferenziazione dei dati immagazzinati ad esatti intervalli di tempo: tale metodologia permetterà una più efficiente gestione dei dati da valutare nella fase di analisi.

Componenti:

Il sistema di monitoraggio è costituito da:

1. Sensori di misurazione parametri di monitoraggio (Pt100 per la misura della temperatura ambiente e dei moduli, Piranometro per la rilevazione dell'irraggiamento, sensore "Silicon reference" per la misura della tensione e temperatura della cella)
2. Sistema di acquisizione dati da sensori (UDAS – USB Data Acquisition System).
3. Data logger (DL100) per la valutazione del corretto funzionamento degli inverter.
4. PC con il software Visual Design configurato espressamente per il caso di studio.

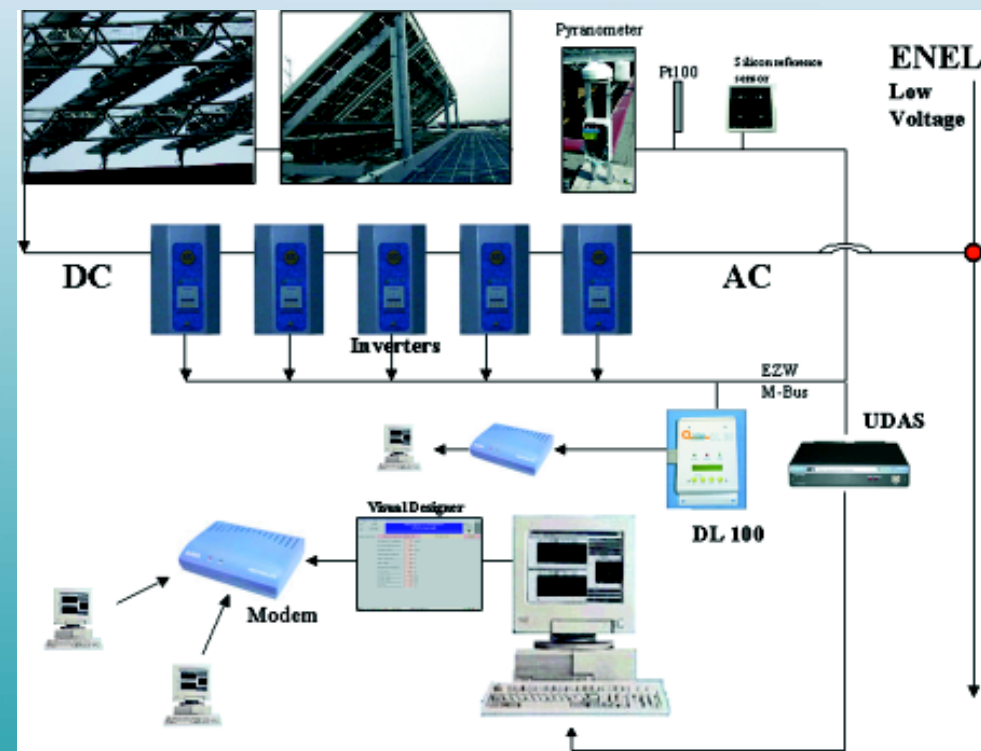
2. L'UDAS è collegato tramite porta USB ad un Personal Computer opportunamente predisposto e collegato tramite modem a internet in modo da permettere l'accesso remoto di utilizzatori esterni. Il PC permette, tramite un software dedicato, di monitorare i segnali dei sensori installati, immagazzinare in ordine temporale i dati e/o di renderli in tempo reale consultabili a video. L'UDAS permette il monitoraggio dei seguenti parametri:

- Temperatura ambiente
- Temperatura dei moduli FT
- Tensione di cella
- Irraggiamento sul piano dei pannelli
- Irraggiamento globale e diffuso
- Valore rilevato della corrente e della tensione (CC) e Potenza complessiva (CA)

3. Il sistema di acquisizione (**Datalogger DL100**), permette di immagazzinare i dati degli inverter e tramite connessione diretta, con modem esterno senza uso di PC, di inviarli ad un server di acquisizione. L'apparecchio, dotato di display a cristalli liquidi, consente di visualizzare in tempo reale i seguenti dati:

- Dati operativi (grid power and energy solargenerator voltage)
- Informazioni sul funzionamento (grid mode, MPP-Tracker state)
- Misurazioni di controllo (operating voltages,

Programma di monitoraggio



Schema generale dell'impianto fotovoltaico

internal temperatures solar-generator data)
4. Visual Designer è l'applicazione windows che gestisce gli input provenienti dalle sonde di rilevazione: il software è essenzialmente un generatore di applicazioni da diagrammi a blocchi per l'acquisizione, la verifica, controllo e misurazione di dati. L'applicazione è stata espressamente adattata al caso di studio e configurata automaticamente all'avvio del sistema.

il sistema di monitoraggio prevede l'utilizzo di un timer che accende e spegne il computer ad orari prefissati in modo da ridurre il lavoro nelle ore di produzione nulla di energia.

I dati sono acquisiti dalle apparecchiature di misurazione ad intervalli regolari e istantaneamente inviati al computer che li raccoglie in un database ordinato accessibile tramite connessione remota per l'analisi dei dati e il controllo delle misurazioni.

I dati immagazzinati, indicizzati secondo la data in cui sono state acquisite le rilevazioni, sono salvati in formato ASCII (.txt): l'uso di file binari o altri formati proprietari è stato evitato per rendere i dati facilmente consultabili e date le dimensioni ridotte per aumentare la possibilità di scambio.

L'uso del valore zero per le rilevazioni mancanti è stato evitato in quanto il valore zero per certe misure può costituire una rilevazione valida. Come ulteriore metodo di archiviazione è previsto ogni tre mesi il salvataggio dei dati su supporto CD-Rom.

L'inizio delle attività di analisi dei dati inviati o dal data logger o prelevabile tramite connessione remota è prevista subito dopo l'inizio dell'attività di monitoraggio per diminuire al minimo la possibilità che o l'impianto fotovoltaico o l'impianto di monitoraggio stesso pre-

Programma Visual Designer



sentino dei malfunzionamenti: tramite una tempestiva indagine è possibile prevenire errori, e identificare delle incongruenze nella calibratura degli apparecchi di misurazione.

Manutenzione

Un programma generale di manutenzione, della stessa durata dell'attività di monitoraggio permetterà di seguire il buon funzionamento degli impianti e il conseguente raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Verifica funzionale- WIP

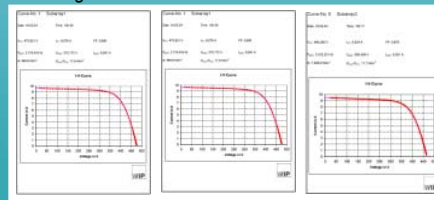


La verifica funzionale

La verifica tecnico-funzionale dell'impianto, effettuata dalla ditta installatrice a lavori ultimati, il 23 Marzo 2004, ha verificato:

- la continuità elettrica e le connessioni tra moduli;
- la messa a terra di masse e scaricatori;
- l'isolamento dei circuiti elettrici dalle masse;
- il corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di conversione (accensione, spegnimento, mancanza rete, ecc.);
- la condizione: $P_{cc} > 0,85 \cdot P_{nom} \cdot I / I_{STC}$, ove:
 P_{cc} è la potenza (in kW) misurata all'uscita del generatore fotovoltaico, con precisione migliore del 2%,
 P_{nom} è la potenza nominale (in kW) del generatore fotovoltaico;
 I è l'irraggiamento (in W/m²) misurato sul piano dei moduli, con precisione migliore del 3%;
 I_{STC} , pari a 1000 W/m², è l'irraggiamento in condizioni standard;
- la condizione: $P_{ca} > 0,9 \cdot P_{cc}$, ove: P_{ca} è la po-

Alcuni grafici del rendimento



Dati risultanti dalla verifica

WIP I-V Curve Tests of Florence 30 kWp PV System

Project: PV Enlargement PNE5-2801-730
 Installation Site: Università degli Studi di Firenze

No.	Interruttore	Data	Time	Volt DC V	Imp DC A	Volt AC V	Imp AC A	Power DC W	Power AC W
1	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
2	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
3	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
4	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
5	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
6	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
7	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
8	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
9	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
10	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
11	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
12	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
13	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
14	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
15	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
16	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
17	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
18	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
19	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
20	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
21	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000
22	Interruttore	18.03.04	10:00:00	415.0	0.00	379.0	0.00	0.000	0.000

tenza attiva (in kW) misurata all'uscita del gruppo di conversione, con precisione migliore del 2%;

- la condizione: $P_{ca} > 0,75 \cdot P_{nom} \cdot I / I_{STC}$.

Normativa e leggi di riferimento

Per la progettazione e realizzazione dell'impianto FV sono state considerate le seguenti leggi e normative di riferimento:

- norme CEI/IEC per la parte elettrica convenzionale;
- norme CEI/IEC e/o JRC/ESTI per i moduli fotovoltaici;
- conformità al marchio CE per i moduli fotovoltaici e il gruppo di conversione;
- UNI 10349 per il dimensionamento del generatore fotovoltaico;
- UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici;

5. MONITORING SYSTEM

The high costs of energy production systems from renewable sources, put in strong prominence the demand to optimise system operation, systems output and reliability.

As results, is therefore essential to be able to analyse the data and information finalised to the elaboration of prudent and punctual energetic budgets. Today everything is possible for the use of integration with "intelligent" systems of supervision, with the Remote control that allows an easy man-machine essential interaction. The integration of new electronic technologies, (Internet Embedded, Internet Automation), M2M (Communication) represents today the ideal solution to satisfy in functional way monitoring need, containing the costs. Different systems are composed of apparatuses devoted to the management as well as to the acquisition, elaboration, transmission and visualisation of information of relative trial to the different states of operation.

For operation control of the Sesto Fiorentino PV plant and its diagnostic a monitoring system has been realised, able to be connected to a PC from which it will be possible to have indication of:

- operation of inverters with indication on possible system malfunction;
- Energy input and output indications: voltage, DC and alternate current provided
- historical file of the electric performances in the last months.

The software developed on purpose for these applications has an easy to understand graphic interface. The elaboration of the data of the historical file is realised with the development of graphs and charts, and it will allow to have a report every six

months. Through the constant internet connection data will be visible to the PV Enlargement group of research.

The inverters are predisposed for the assemblage of the data acquisition system. The acquisition system essentially constituted of sensors and converters, and by a Data acquisition system.

Will be measured:

- 1) Radiance on the modules plan.
- 2) Global radiation
- 3) Photovoltaic module Temperature
- 4) String DC current
- 5) String DC tension
- 6) Ambient Temperature
- 7) String Power and energy
- 8) Inverter output power and energy
- 9) Global output Power and energy

PV field is predisposed for the monitoring system lodging (probes Pt100 for the temperature and pyranometer for the measurement of the total and diffused radiation).

CONCLUSIONS

The plant has maximum visibility either for the configuration of the building in which has been installed, either for the urban morphology of the context in which is inserted, it can be visible also from the nearby areas.

It is anticipated that the plant after a Workshop on the occasion of the initial inauguration will be object of driven visits by students and participants to specialisation courses, but it will also be subject for surveys, experimentation and studies to widen the relative cognitive baggage to the architectural integration of photovoltaic in the urban context.

Display di visualizzazione dati

Un pannello informativo di tipo standard (70x60cm circa) con display luminoso è stato posizionato nell'atrio di ingresso.

Il solar display, in aggiunta al sistema di acquisizione dati e monitoraggio dell'impianto fotovoltaico, permette la divulgazione di una serie di messaggi di carattere informativo, per indicare che si è installato un impianto di produzione di energia pulita, per evidenziare, tramite un display a cristalli liquidi, una serie di dati e informazioni inerenti l'impianto FV installato e connesso alla rete elettrica.

Sul pannello informativo sono indicate le informazioni relative all'impianto FV.

Il display collegato all'impianto FV evidenzia: i valori di potenza istantanea espressa in watt, il valore di irraggiamento espresso in W/m², la temperatura in gradi centigradi, l'energia totale prodotta kWh e la quantità di Co2 espressa in kg.

Display informativo posto all'ingresso



Il sito WEB

<http://web.taed.unifi.it/abitaweb/sesto/FVsesto.htm>



Alcune immagini del sito web

